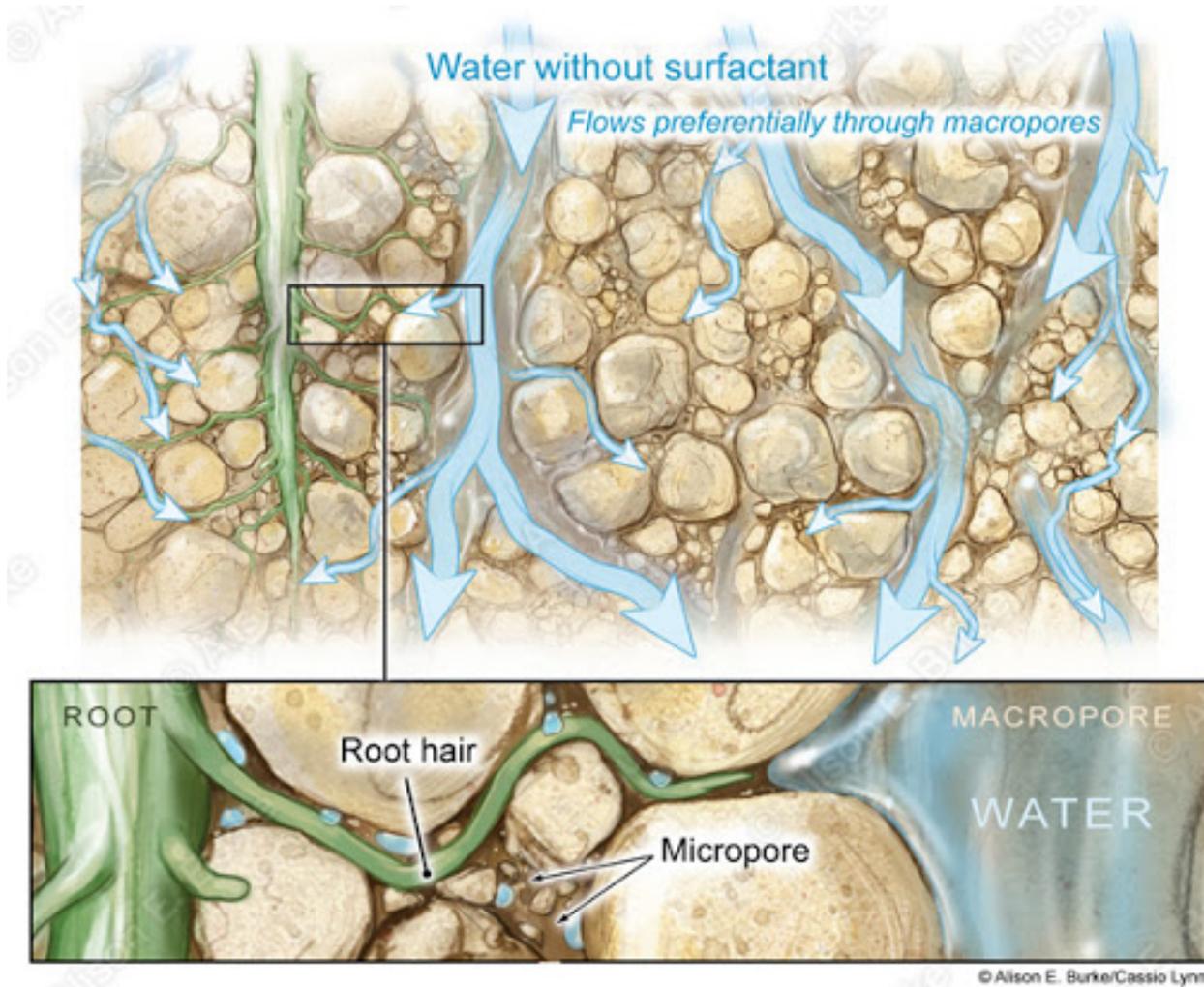
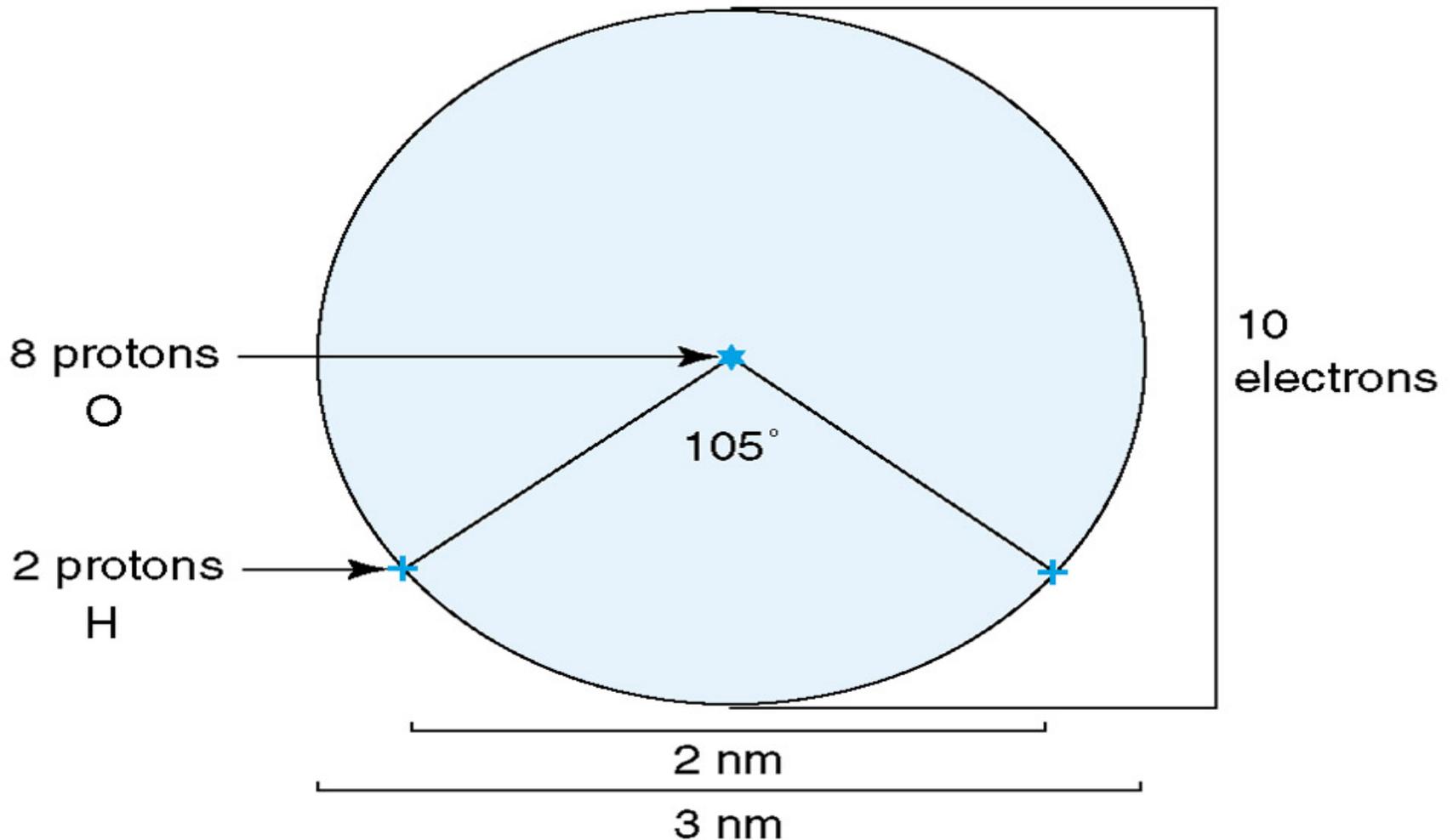


# El agua en el suelo

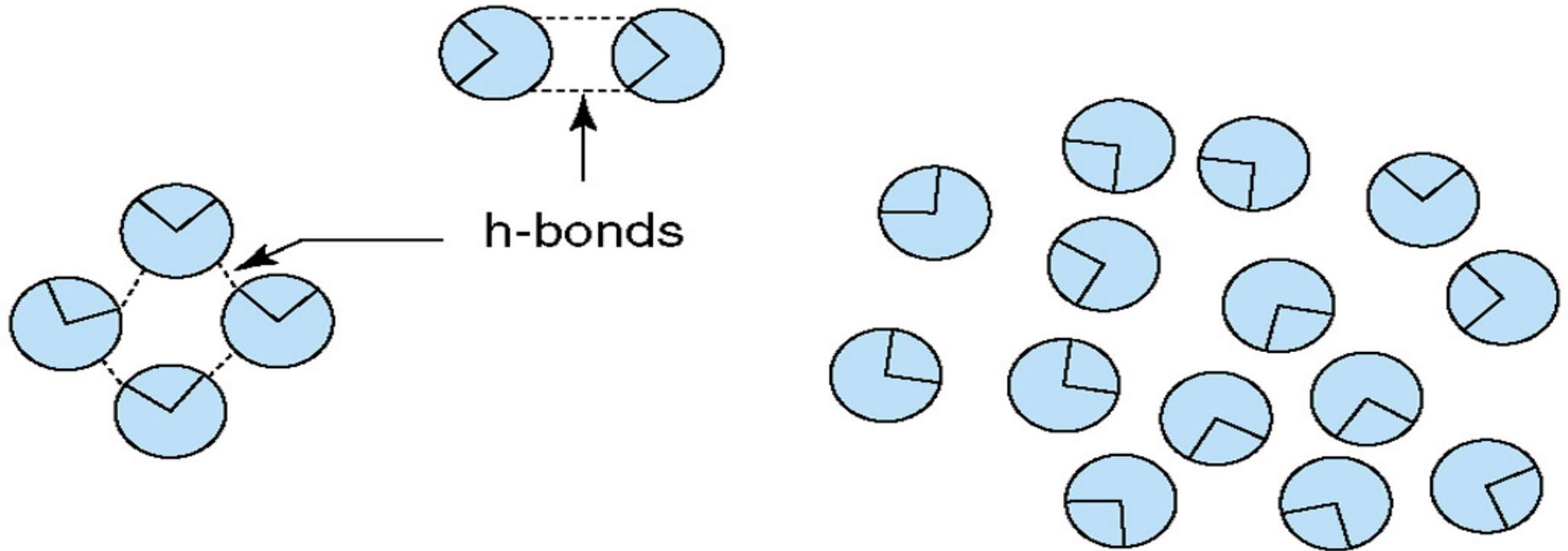


# Características de la molécula de agua

A water molecule showing positions of protons associated with oxygen and hydrogen nuclei and a likely set of transient positions for electrons. The electrons are constrained to orbits traversing both top and bottom hemispheres, but the positive charges are distinctly off-center due to the placement of the two protons (H atoms) at the lower periphery. This arrangement makes the molecule polar.

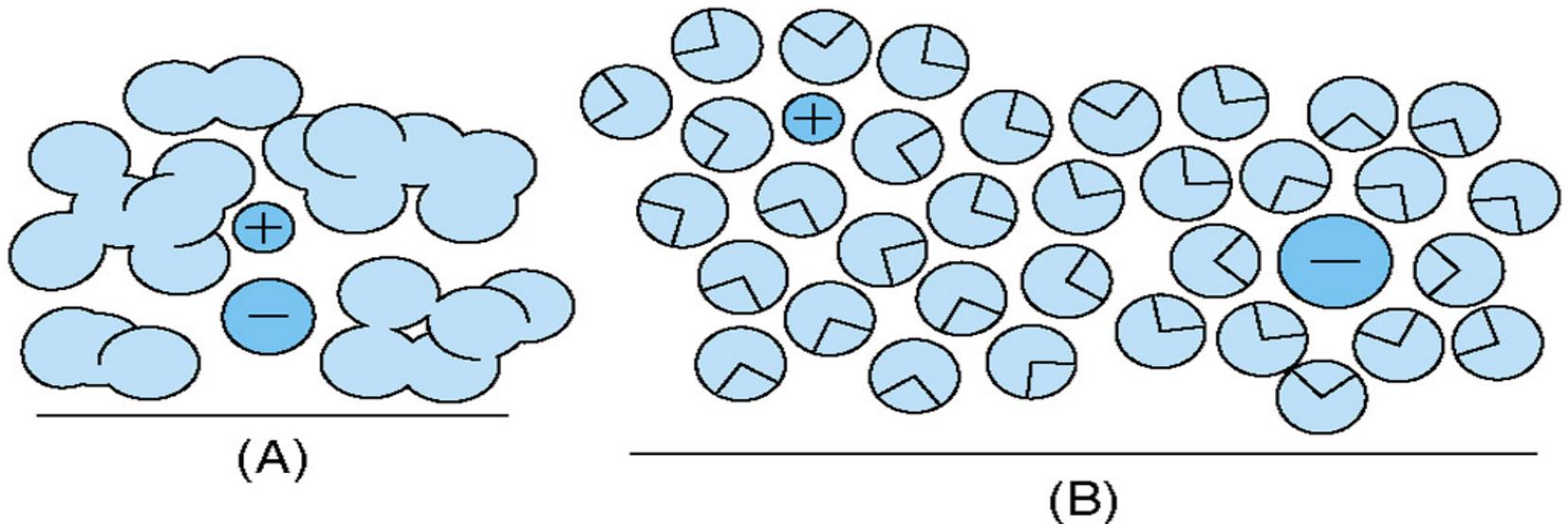


El agua es un dipolo. La electronegatividad del H y O permiten la formación de puentes de hidrógeno. Así las moléculas de agua se agrupan....se cohesionan.



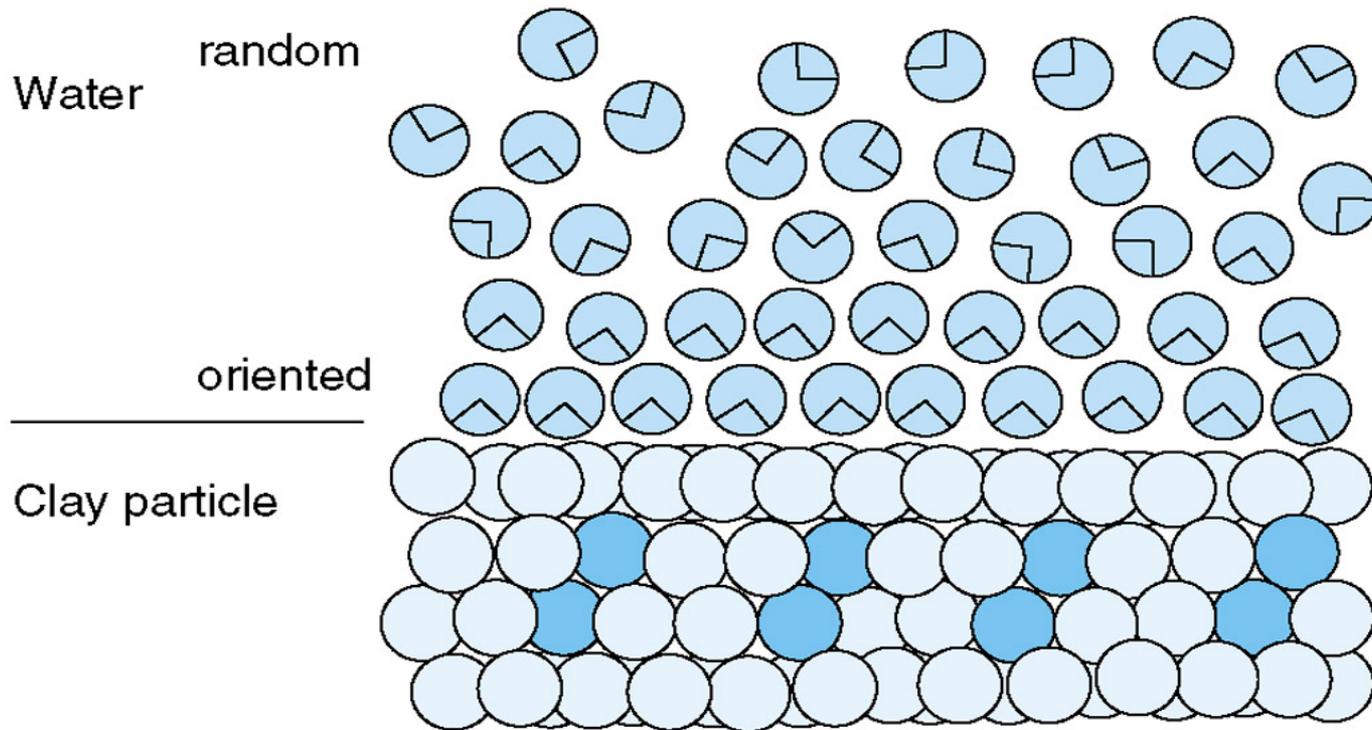
Hidratación de los iones. (A) Iones en un solvente no polar están libres y forman un sólido. (B) Iones en agua (solvente polar) se hidratan orientando las moléculas de agua en capas o películas de hidratación. Las sustancias iónicas son más solubles en solventes polares que en solventes no polares.

Interacción de los iones con compuestos no polares (A) y polares como el agua (B)



Water molecules near a clay surface. Note that the molecules nearest the surface are oriented with their more positive side toward the negatively charged clay. Those in the bulk solution are randomly oriented.

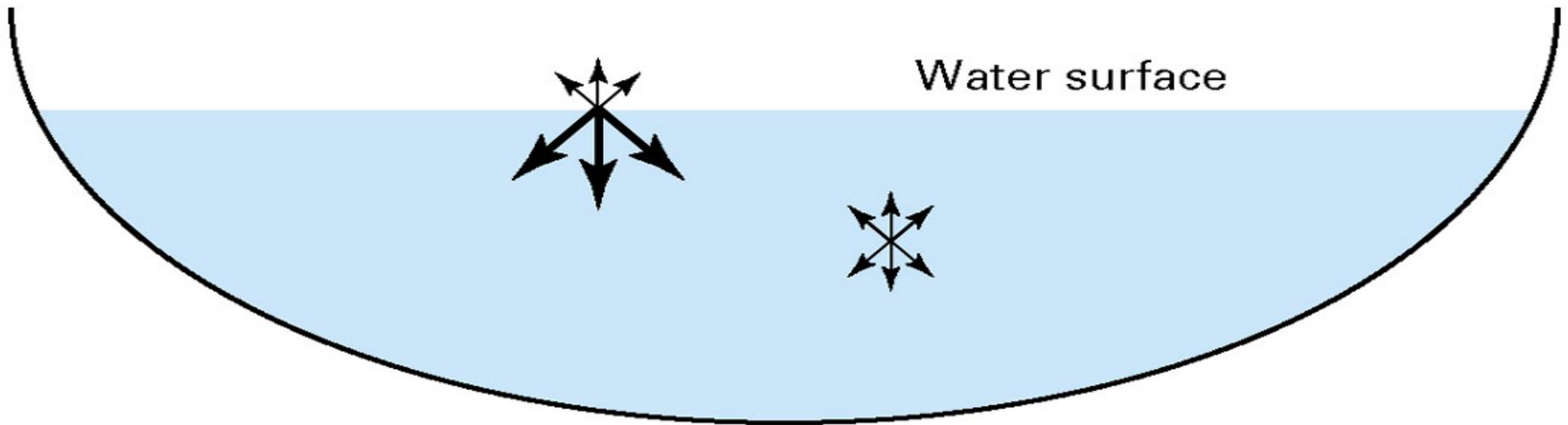
## *Interacción de las moléculas de agua con las partículas minerales (arcillas en este caso)*





**Cohesion.** Some insects, such as this water strider, literally walk on water. In this photograph you can see the dimpling the insect's feet make on the water as its weight bears down on the surface. Because the surface tension of the water is greater than the force that one foot brings to bear, the strider glides atop the surface of the water rather than sinking.

El fenómeno de tensión superficial se debe a que las moléculas de agua están atraídas con mayor fuerza hacia ellas mismas que hacia las moléculas de aire.



# Los poros del suelo y su interacción con el agua

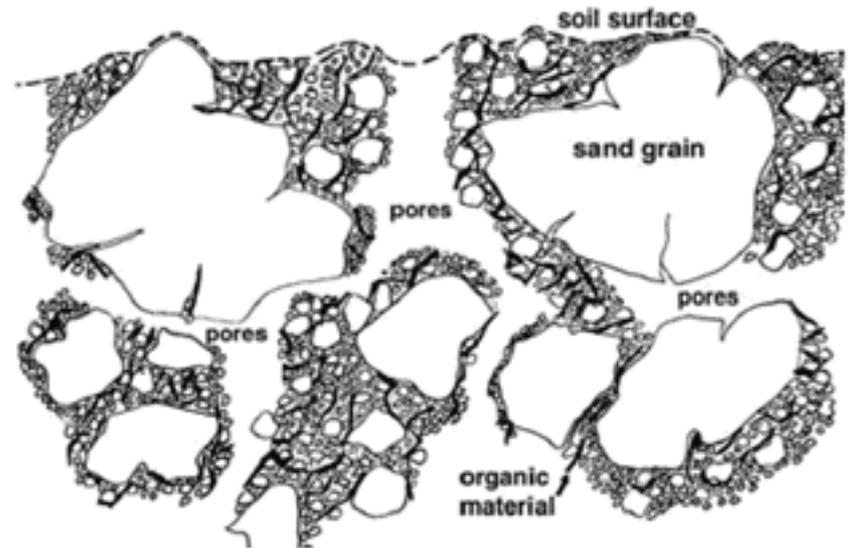
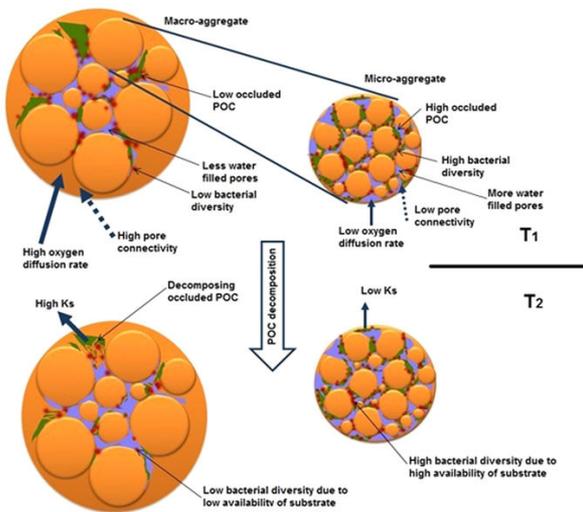
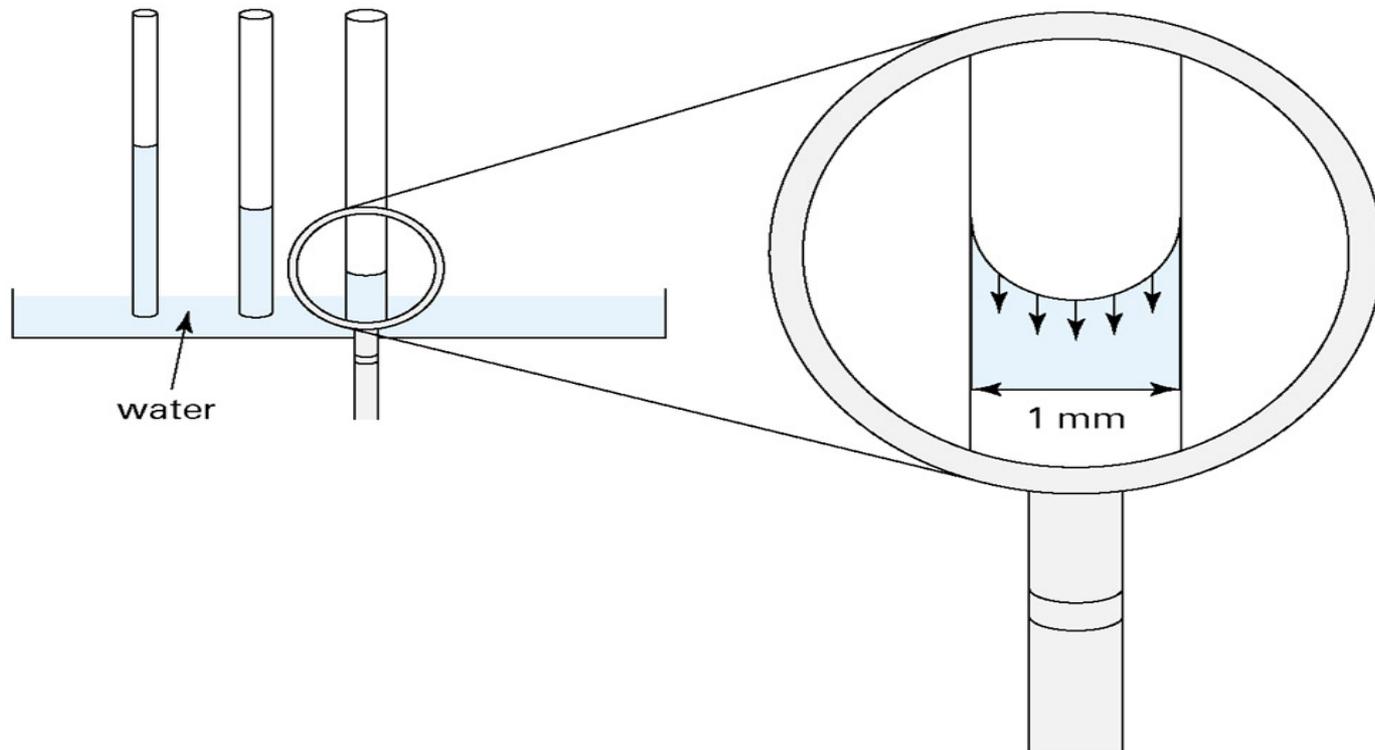


Figure 5–15 The attraction of water molecules to one another is stronger than that of air molecules to water molecules, causing the water molecules at a surface to act like a thin elastic sheet. When the end of a tube is placed into water, the water rises in the tube. The water molecules are attracted to the walls of the tube and adhere to them, thus forming a curved air–water interface, called a meniscus. The pressure under the meniscus is less than the atmospheric pressure over it. The water outside the tube is at atmospheric pressure. It flows into the tube, which forces the water in the tube upward until the reduced matric potential just below the meniscus is compensated for by the equivalent increase in gravity potential.

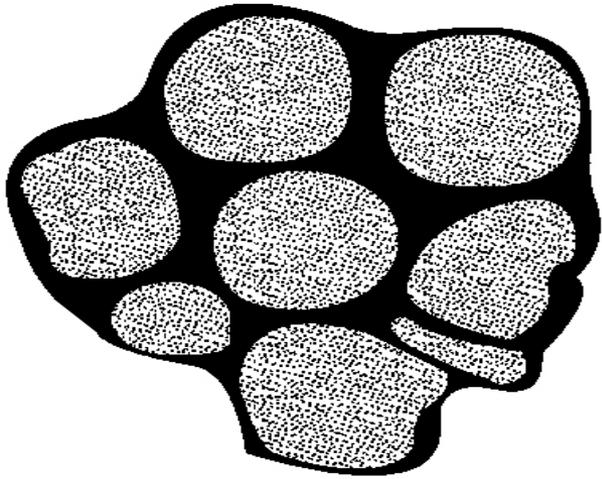
In moist soils, the pores act like thin tubes, and water is held by capillarity. Pores are not straight and smooth like the tubes in the figure, and so water does not reach the same height in pores as it would in tubes of the same diameter. A soil with many small pores holds more water by capillarity than does a soil with few large pores. In addition, because of capillarity, water rises higher from a water table in a clay soil than in a sandy soil.



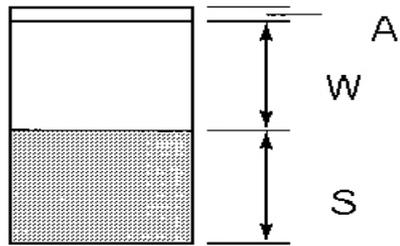
# EL POTENCIAL DE AGUA EN EL SUELO ( $\psi$ )

- Energía Potencial y formas de expresión.
- Potencial de agua del suelo.
- Componentes del potencial de agua en el suelo:
  - **Potencial gravitacional** (componente que da cuenta del agua que es posible mover por sola acción de la gravedad. Es positivo)
  - **Potencial de presión** (existe en condiciones de saturación. Es positivo)
  - **Potencial mátrico** (da cuenta del agua que es retenida por fuerzas de cohesión y capilaridad. Es negativo)
  - **Potencial de solutos u osmótico** (da cuenta de la energía que posee el agua bajo la influencia de los iones disueltos en ella. Es negativo)

**Saturado**

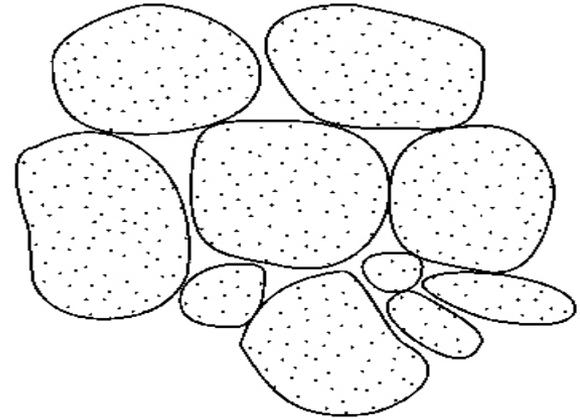


(A)

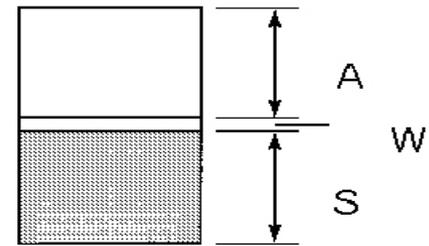


**No saturado**

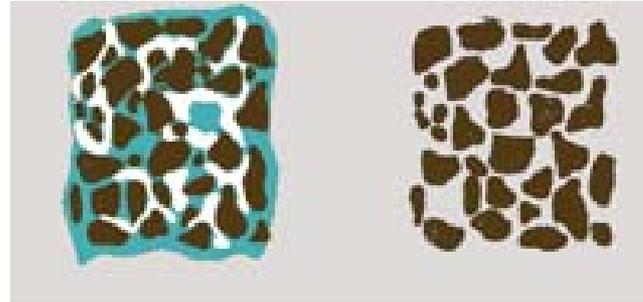
1 mm



(B)

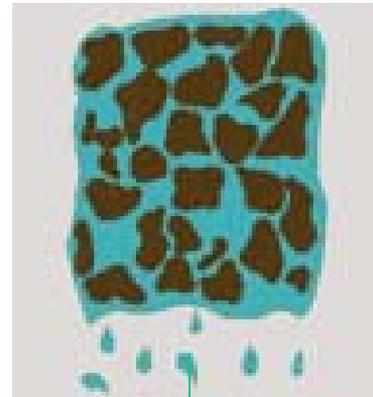


En condiciones **no saturadas**, el potencial de presión no existe.



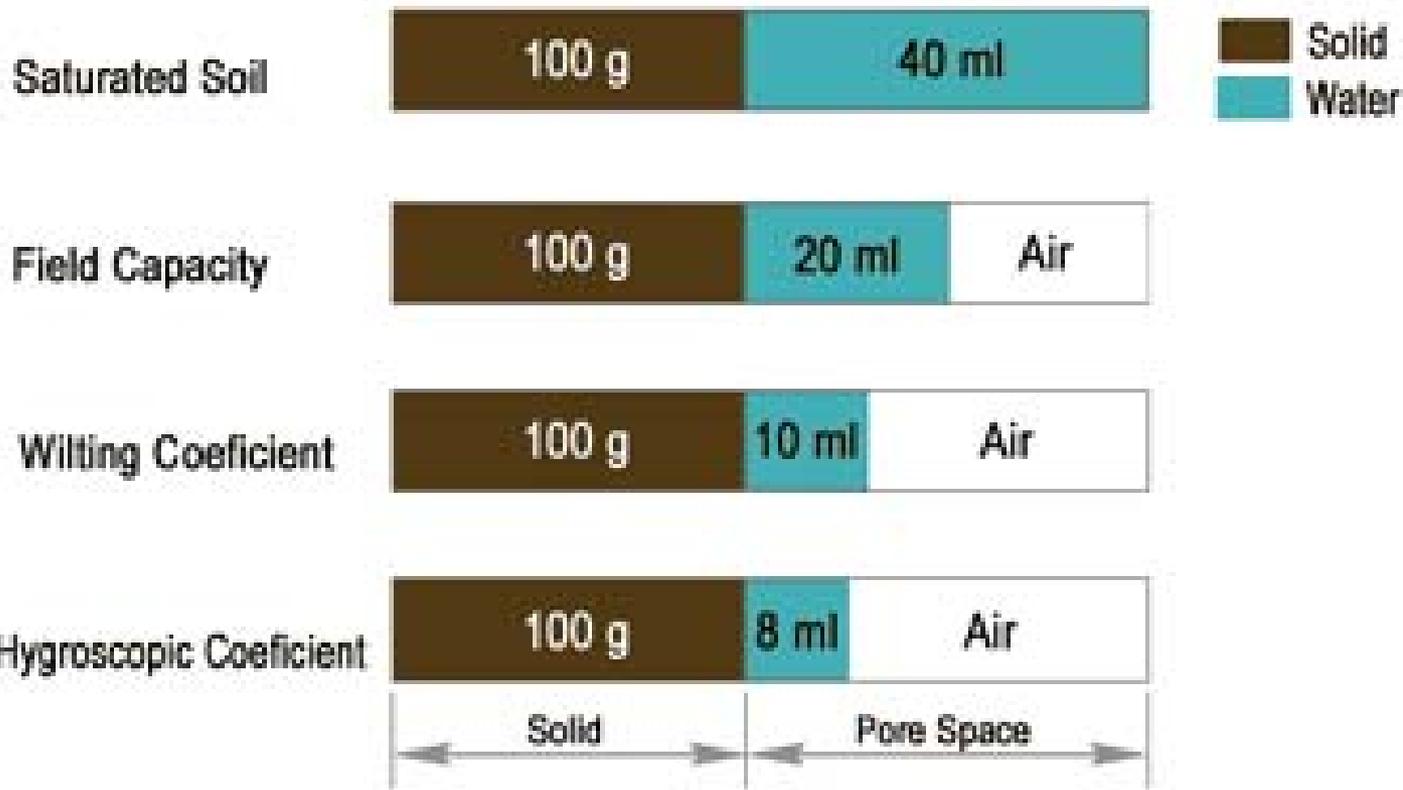
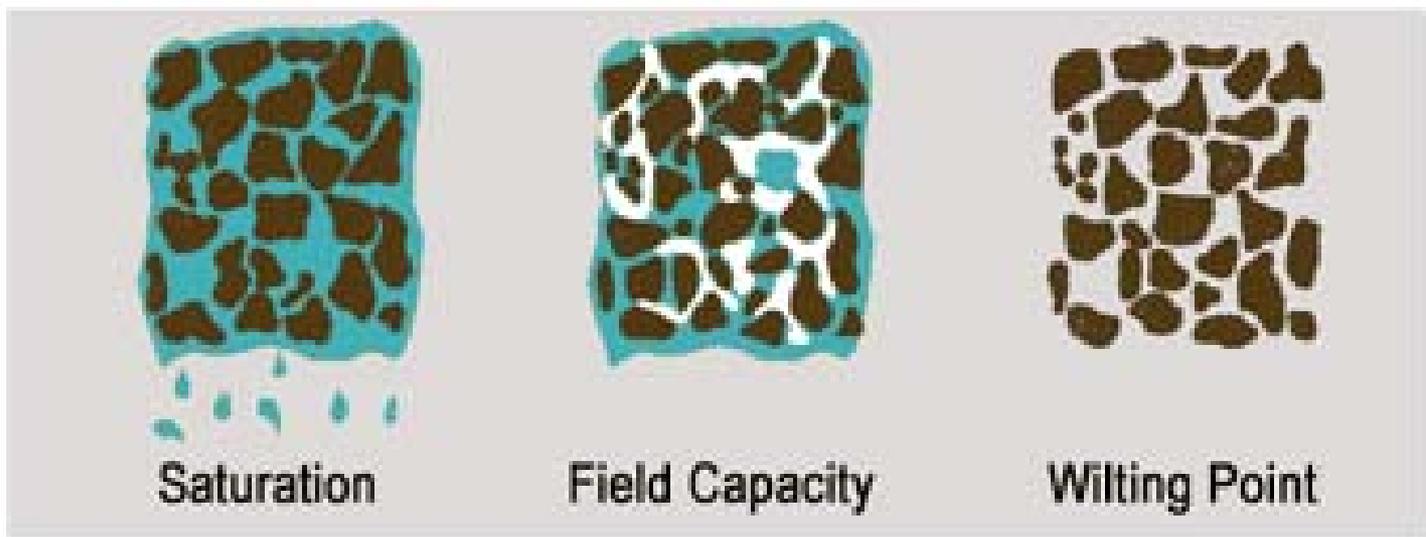
$$\psi_t = \psi_g + \psi_m + \psi_s$$

$$\psi_t = \psi_g + \psi_p + \psi_s$$

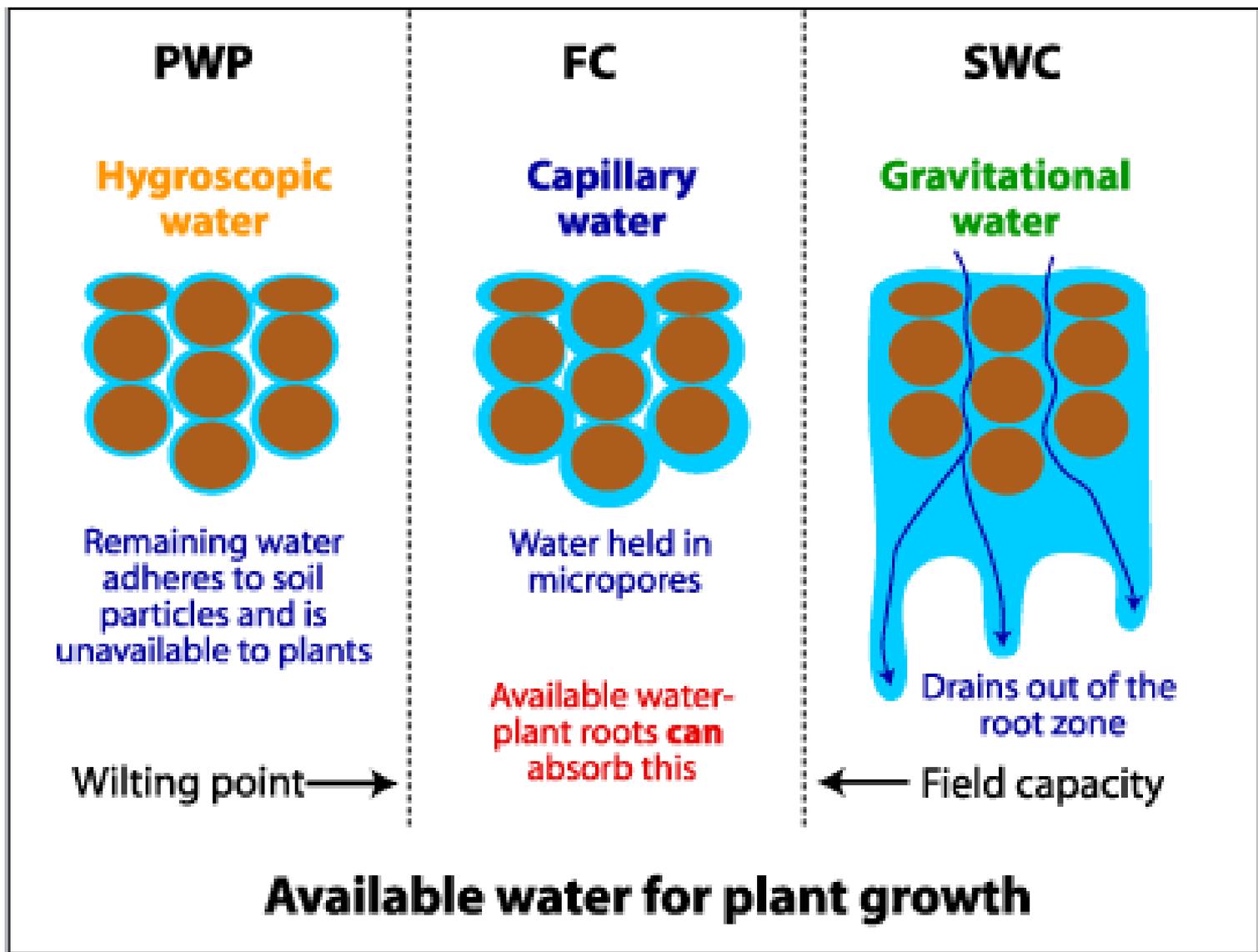


En condiciones de **saturación**, el potencial mático no existe.

Parte del agua se mueve por acción de la gravedad



Los conceptos de Saturación, **Capacidad de campo** (field capacity) y **punto de marchitez** (wilting point)

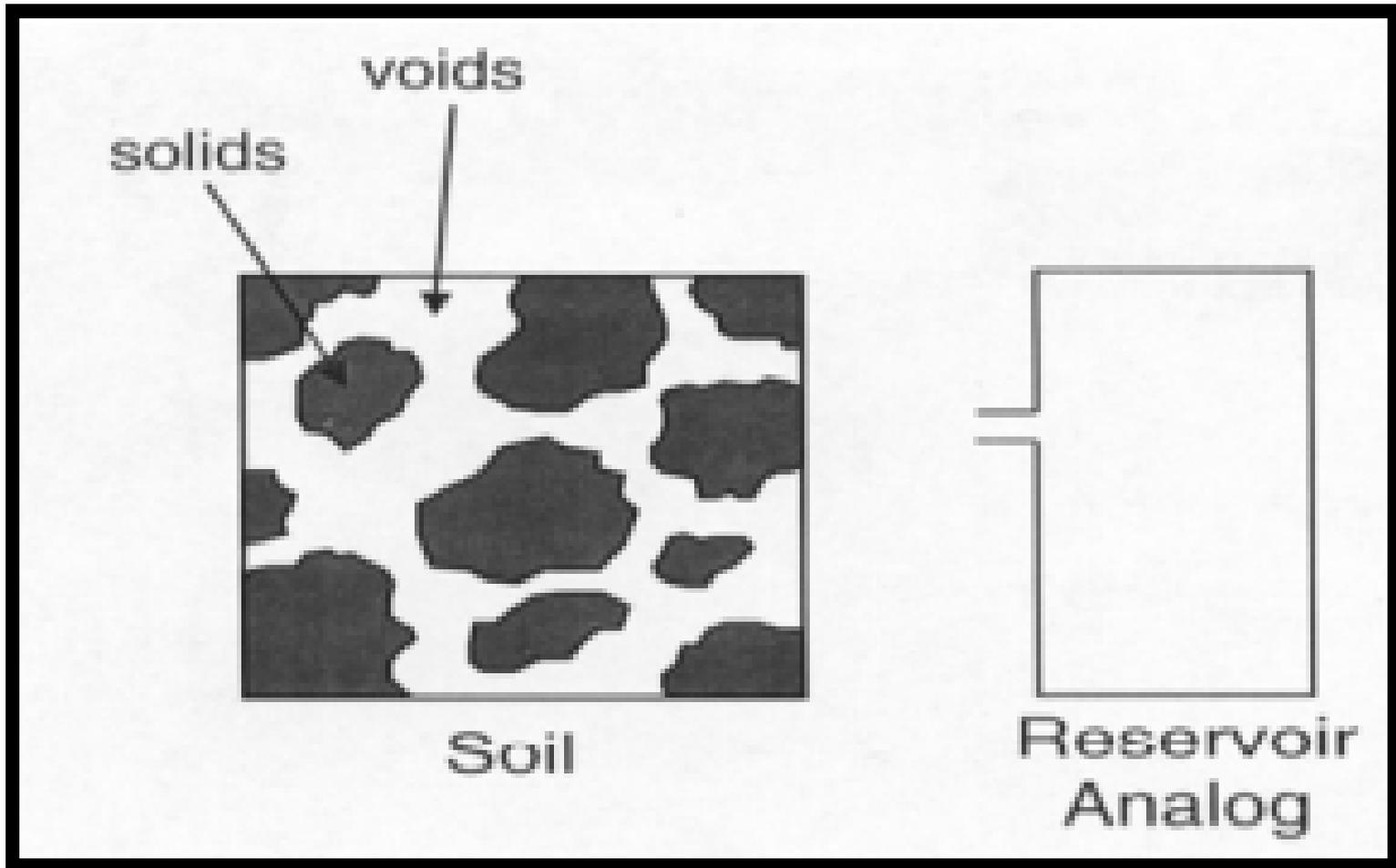


PWP: Punto de marchitez permanente  
 FC: Capacidad de campo  
 SWC Contenido de agua a saturación

Conceptos de agua higroscópica, agua capilar y agua gravitacional

Una analogía entre el contenido de agua del suelo y un reservorio de agua obtenido de:

IRRIGATION PRINCIPLES AND MANAGEMENT, a text by Dr. Dean Eisenhauer, Dr. Derrel Martin and Dr. Glenn Hoffman. Biological Systems Engineering Department, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska.

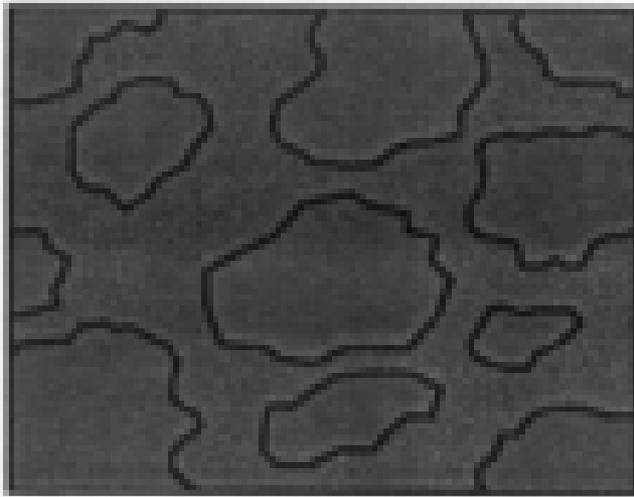


**Solids:** partículas de suelo

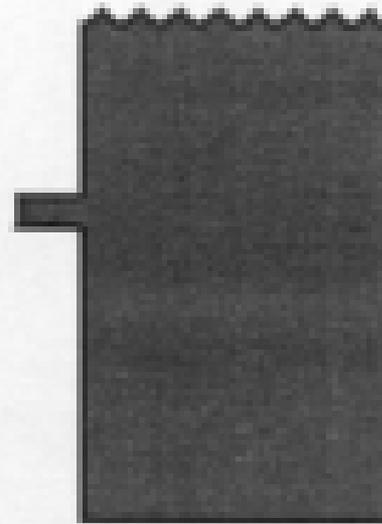
**Voids:** espacio poroso

**Reservoir analog:** Reservorio de agua análogo

saturated  
(voids filled  
with water)



Soil



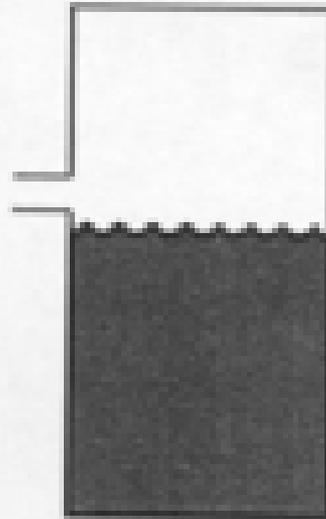
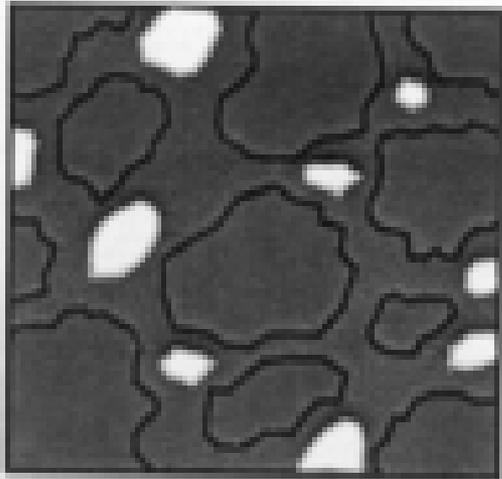
Reservoir  
Analog

**Condición saturada: Espacio poroso lleno de agua**

field capacity  
(about 2 days of  
drainage)

top of usable  
reservoir

La capacidad real  
del reservorio  
posible de utilizar  
por las plantas  
está a su máxima  
capacidad



Soil

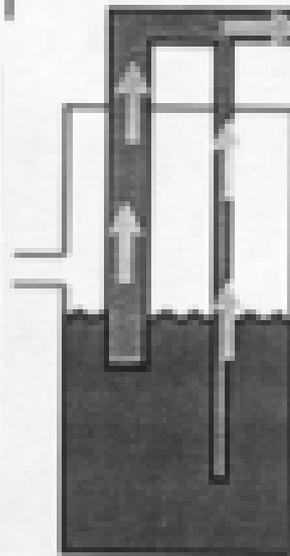
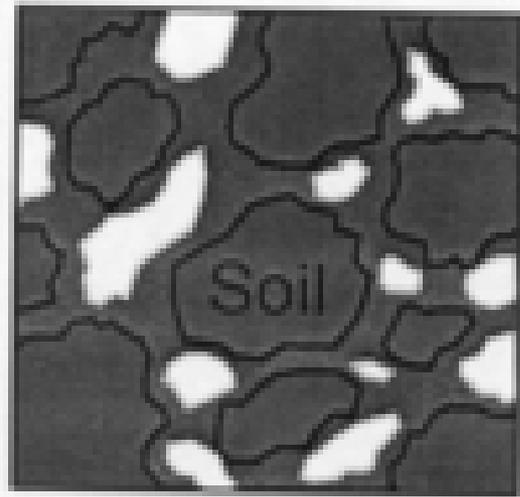
Reservoir  
Analog

Capacidad de campo

$\psi = -0,3 \text{ bar} = -33 \text{ KPa}$

Capacidad de Campo (field capacity) ocurre aproximadamente dos días luego de una lluvia copiosa o un riego adecuado. El suelo inicialmente saturado de agua producto de la lluvia o riego, drena el agua por acción de la gravedad. Aquí el potencial de gravedad cobra relevancia.

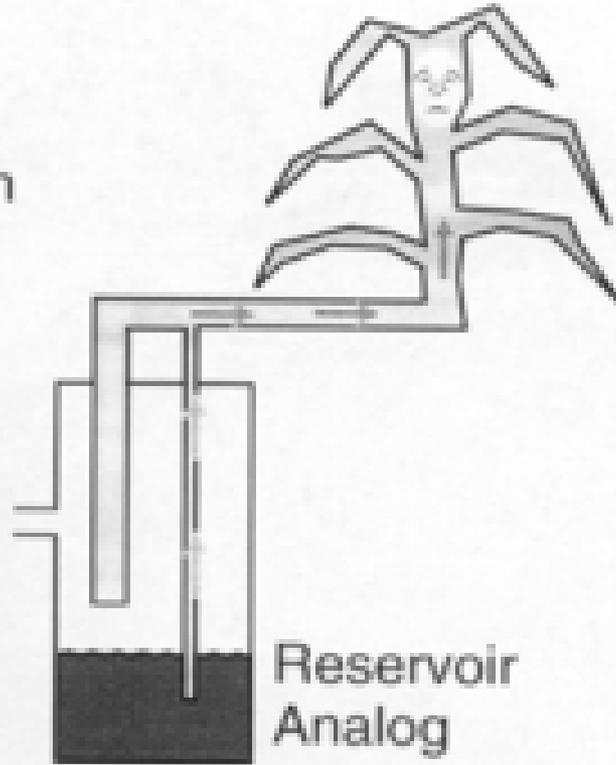
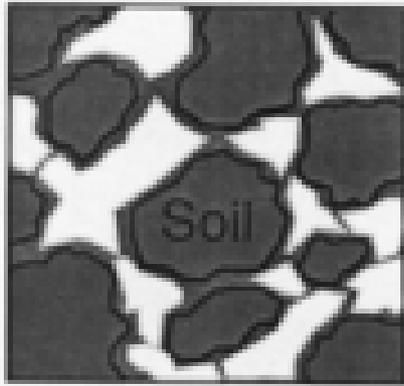
between  
field capacity and  
allowable depletion



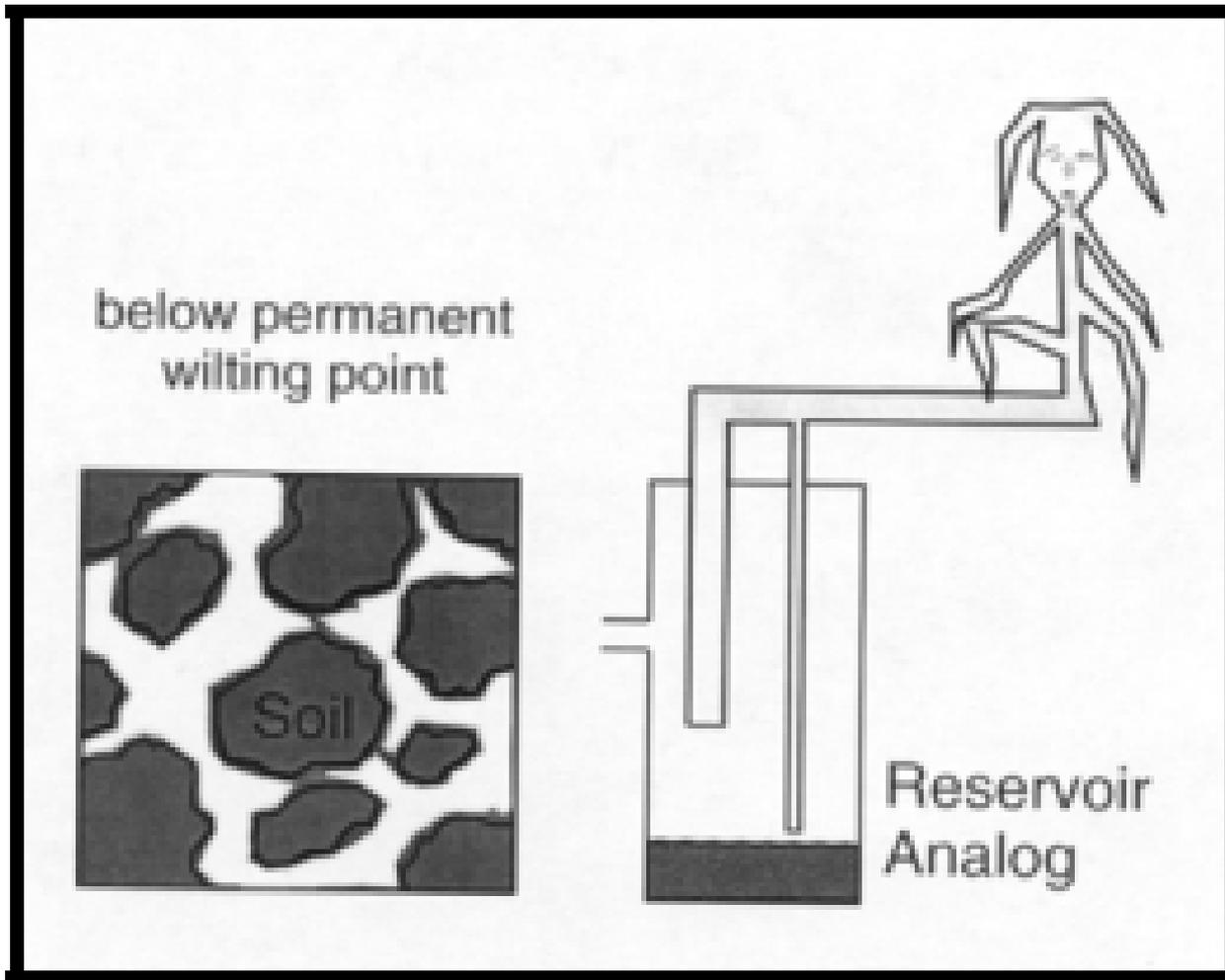
Reservoir  
Analog

Entre capacidad de Campo y el consumo permitido. Nótese que de manera figurada la planta está tomando el agua del suelo (reservorio) por un tubo ancho y un tubo angosto. Estos representan los poros capilares del suelo. En este caso ambos tubos están transmitiendo agua sin inconvenientes.

between  
allowable depletion  
and permanent  
wilting point



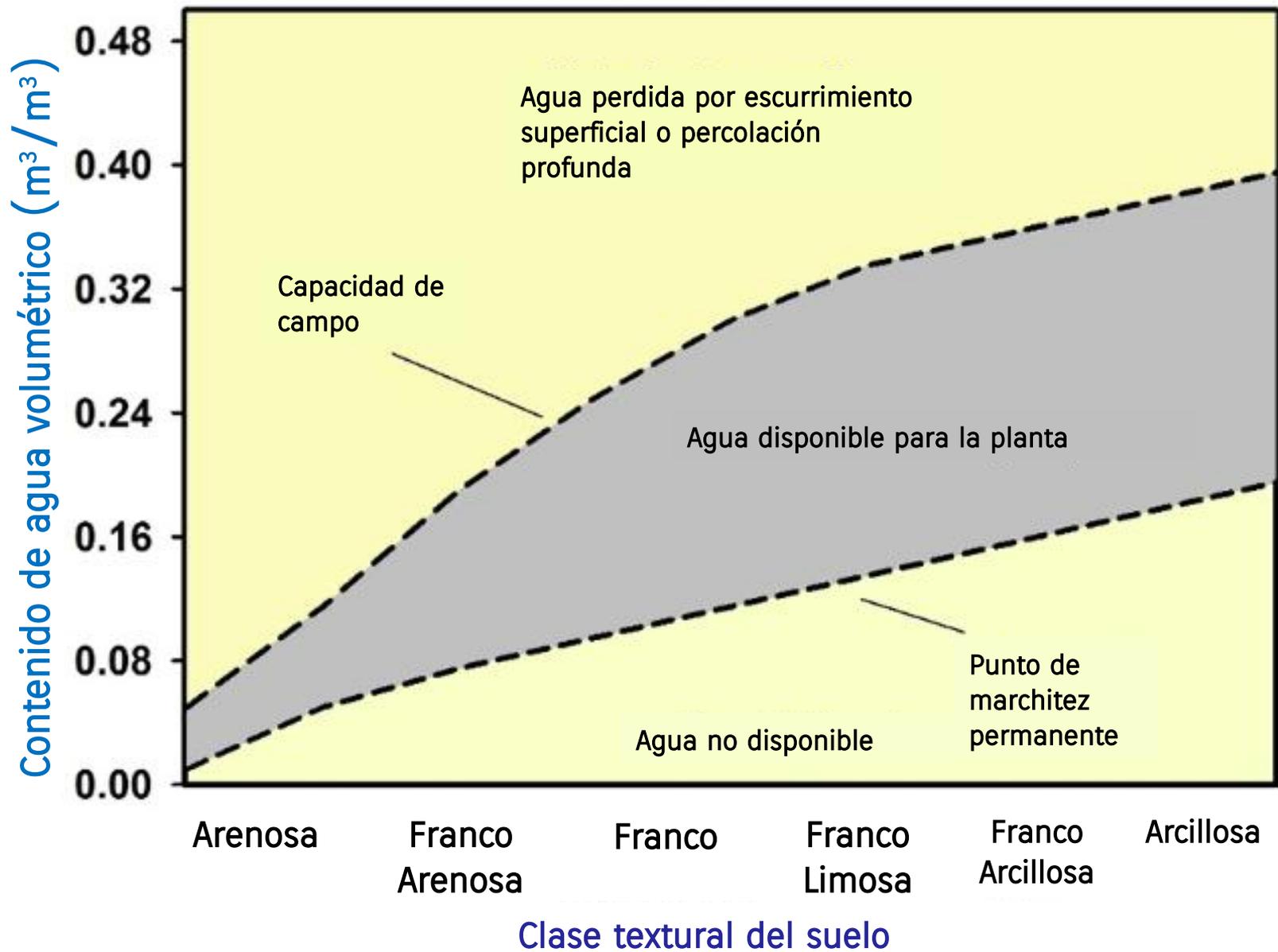
Entre un valor de consumo permisible y el punto de marchitez permanente la planta es capaz de absorber agua pero dicha toma de agua es transportada a la raíz por los poros más pequeños, que movilizan el agua más lentamente y retienen además el agua con mayor fuerza (El potencial de agua del suelo es más negativo). Por ende el gasto energético para la planta es mayor.



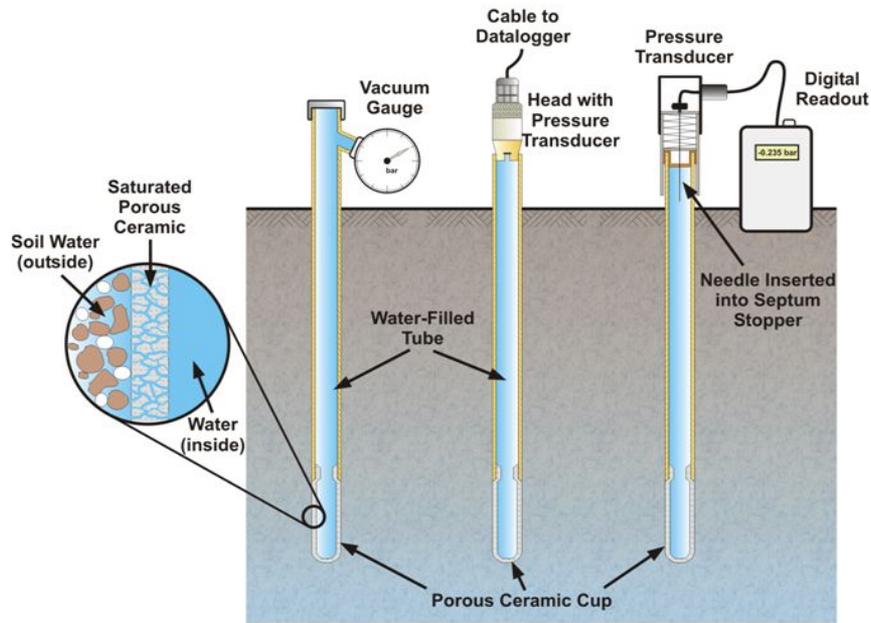
Punto de Marchitez permanente

$\psi = -15 \text{ bar} = -1500 \text{ KPa}$

A punto de marchitez permanente o a potenciales más bajos, el agua no está disponible para la planta pues ésta es retenida tan fuertemente por las partículas y microporos del suelo que las raíces no son capaces de obtenerla. La planta se marchita permanentemente.





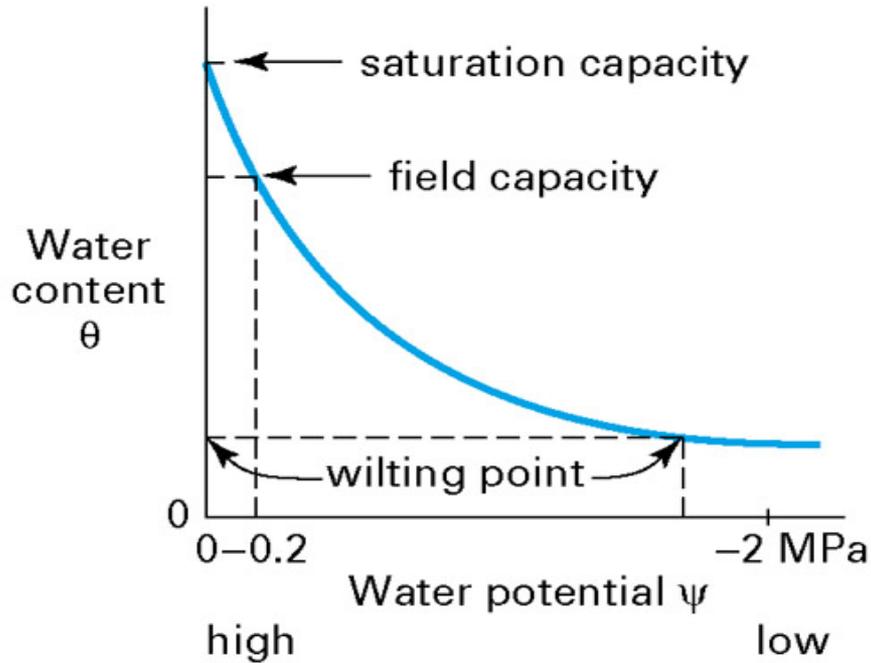


Copyright © Markus Tuller and Dani Or/2002-2004

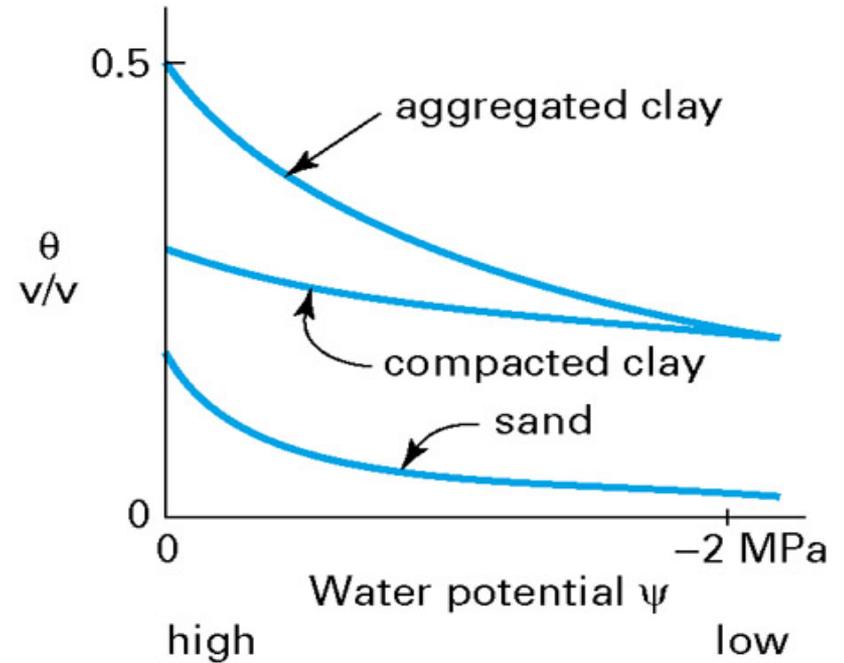


Instrumentos utilizados para determinar el potencial de agua del suelo

# La curva característica de humedad



(A)



(B)

Relaciona el potencial de agua de una muestra de suelo con su contenido de agua gravimétrico o volumétrico (idealmente este último).

# Determinación de la curva de retención de agua









8. 8. 2001



INSTRUMENTATION  
© by METER 1997  
Model WP4  
Serial 10420

Sample Equilibration Area

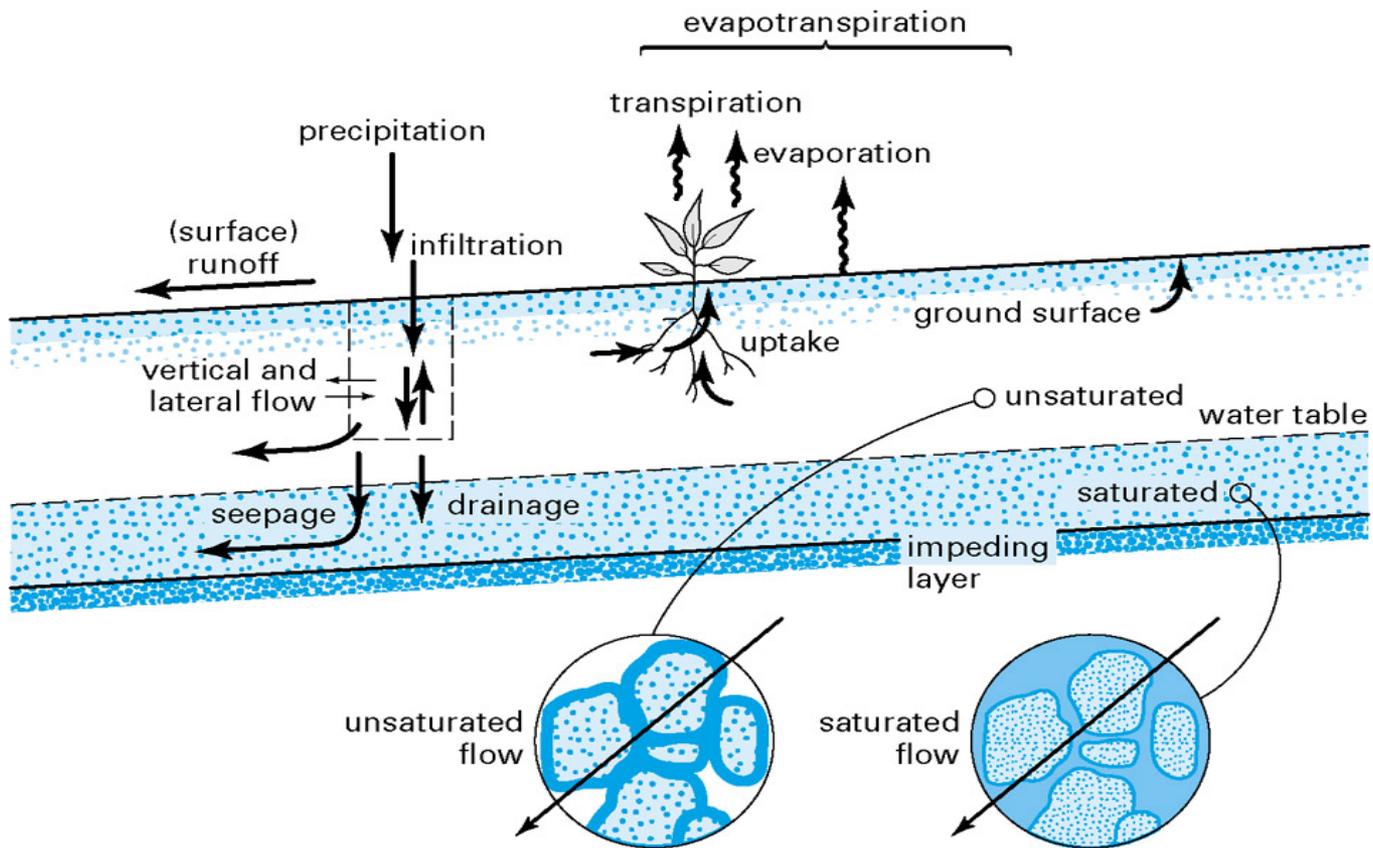
**WP4**   
Dewpoint Potential Meter

OPEN/LOAD

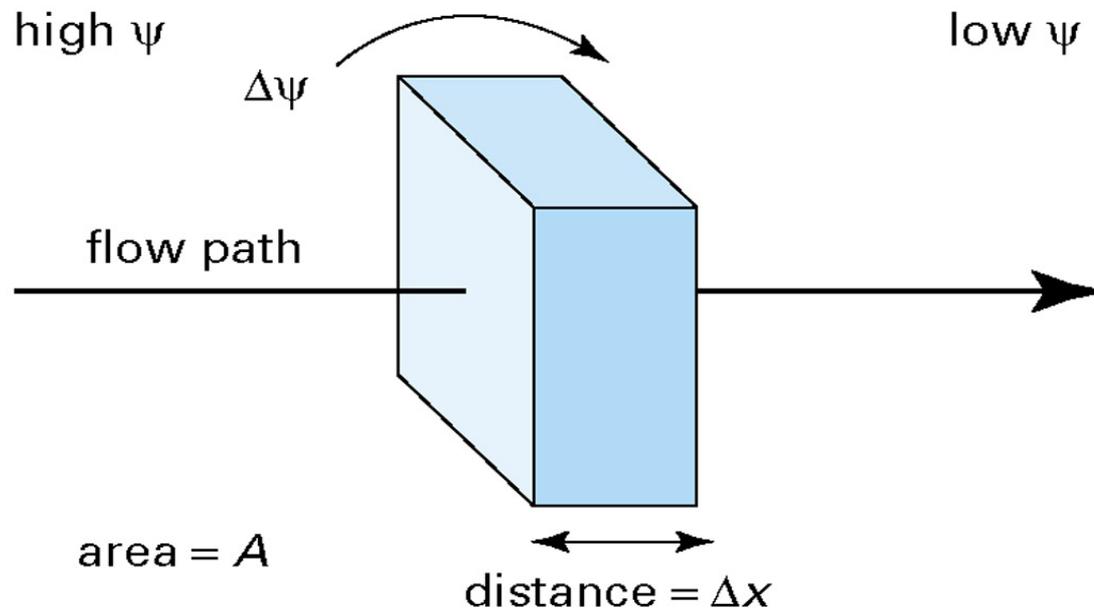
READ

8.8.2001

# **INTRODUCCIÓN AL MOVIMIENTO DE AGUA EN EL SUELO (una mirada simple)**



Pincipios del movimiento de agua en el suelo:



- En el suelo es posible observar diversos fenomenos de flujo:
  - Calor
  - Electricidad
  - Difusión de gases
  - Movimiento de agua

**Flujo:** Tasa de movimiento de un fluido. Es la cantidad de materia o energía transferida a través de un sistema por unidad de tiempo.

Como los sistemas pueden tener límites muy variables, es necesario acotar a una unidad de área conocida. Es decir, queremos conocer el flujo por unidad de área del sistema y no el flujo del sistema total. A este flujo por unidad de área se le ha definido como *densidad de flujo*.

Las ecuaciones que describen cada uno de estos fenómenos de flujo fueron desarrolladas independientemente. Sin embargo, todas ellas tienen una forma similar.

El flujo de agua en el suelo está descrito por la ley de Darcy:

$$J_w = -K \frac{d\Psi}{dz}$$

Este signo indica que el flujo es en dirección opuesta al del gradiente de potencial.

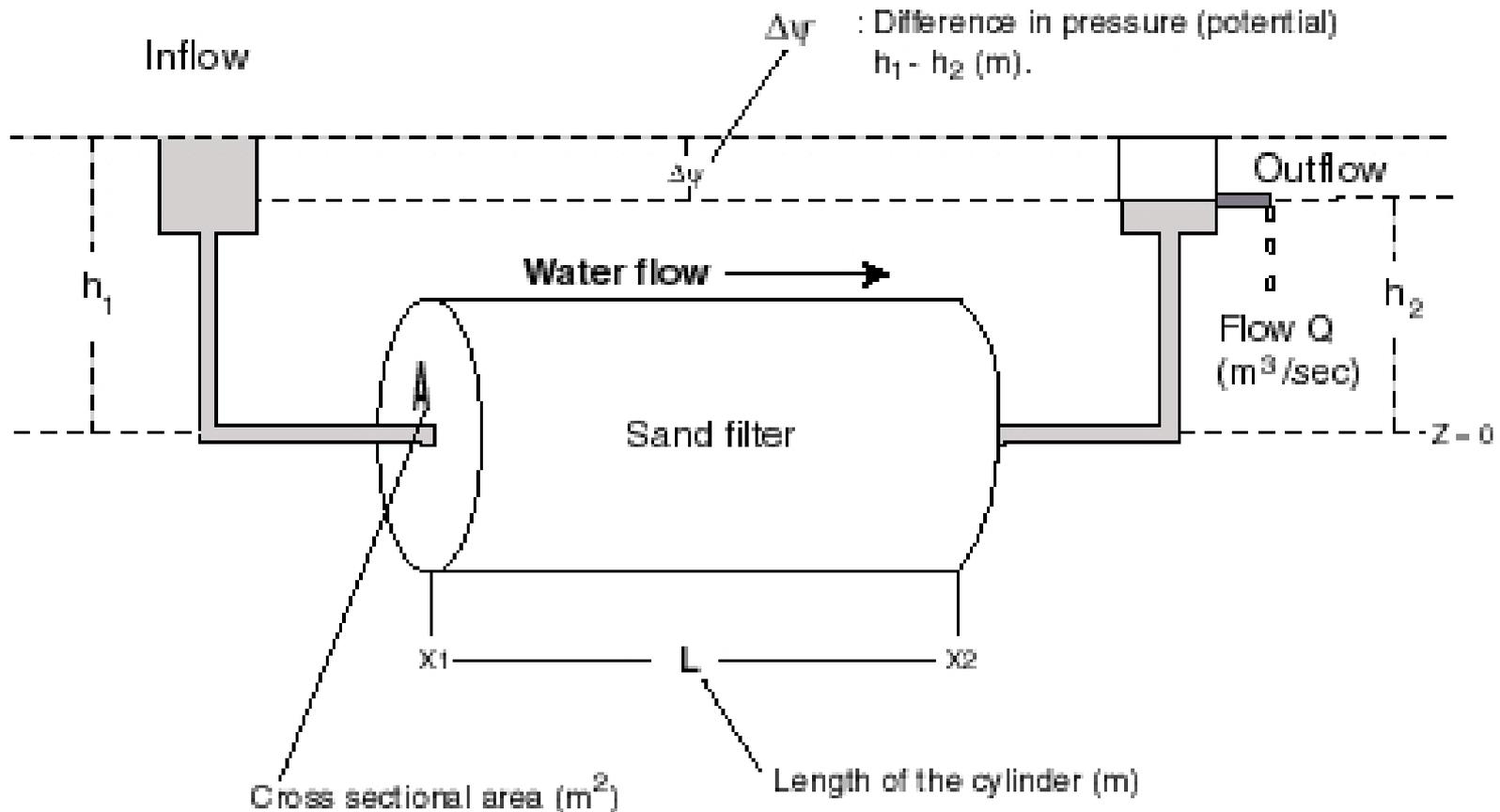
En donde,

$J_w$  es la densidad de flujo de agua ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

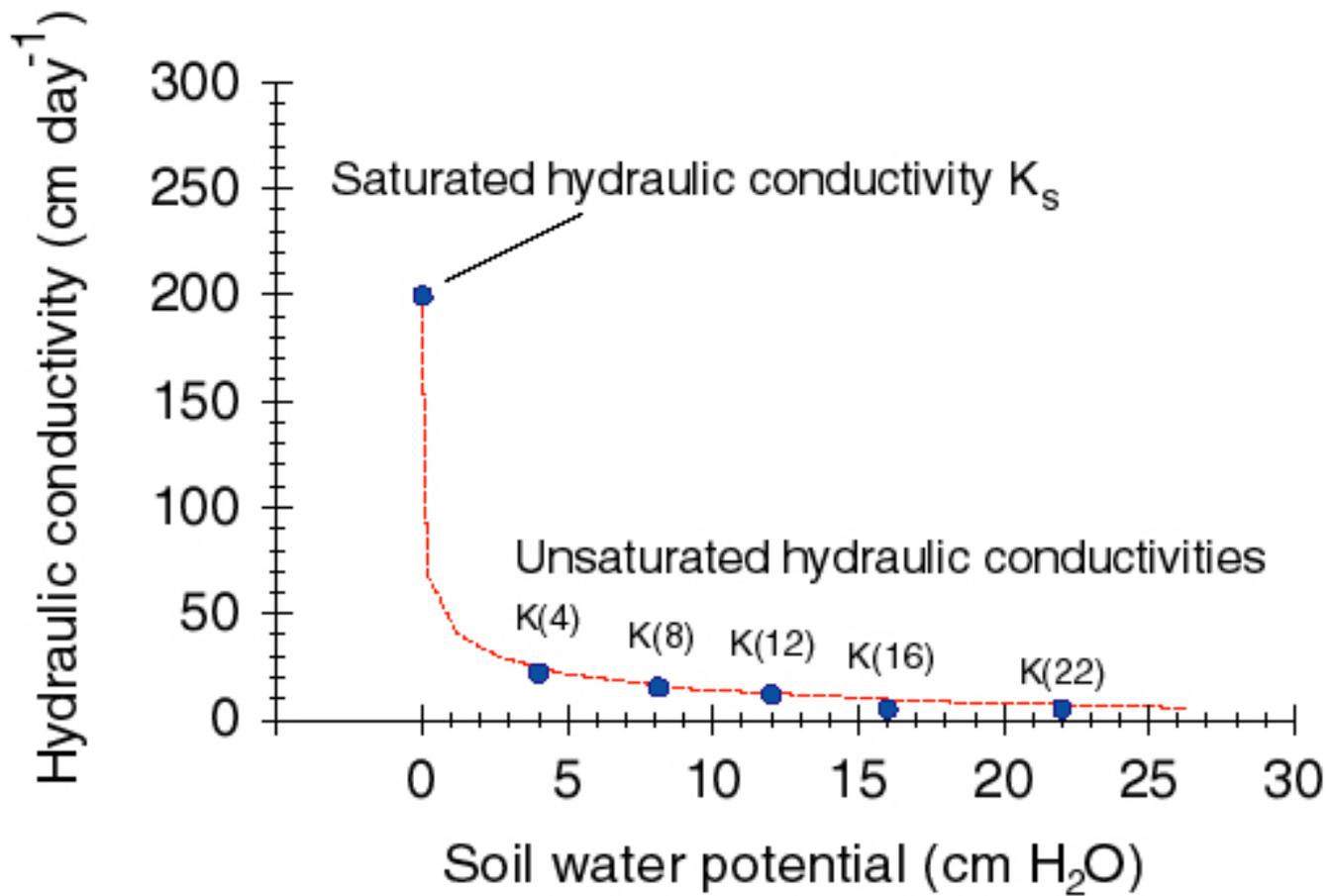
$K$  es una constante de proporcionalidad conocida como **conductividad hidráulica** ( $\text{kg s m}^{-3}$ ) Nota: H. Darcy hizo sus derivación para **condiciones de saturación**.

$d\Psi/dz$  es el *gradiente de potencial de agua* ( $\text{J kg}^{-1} \text{m}^{-1}$  o  $\text{m s}^{-2}$ )

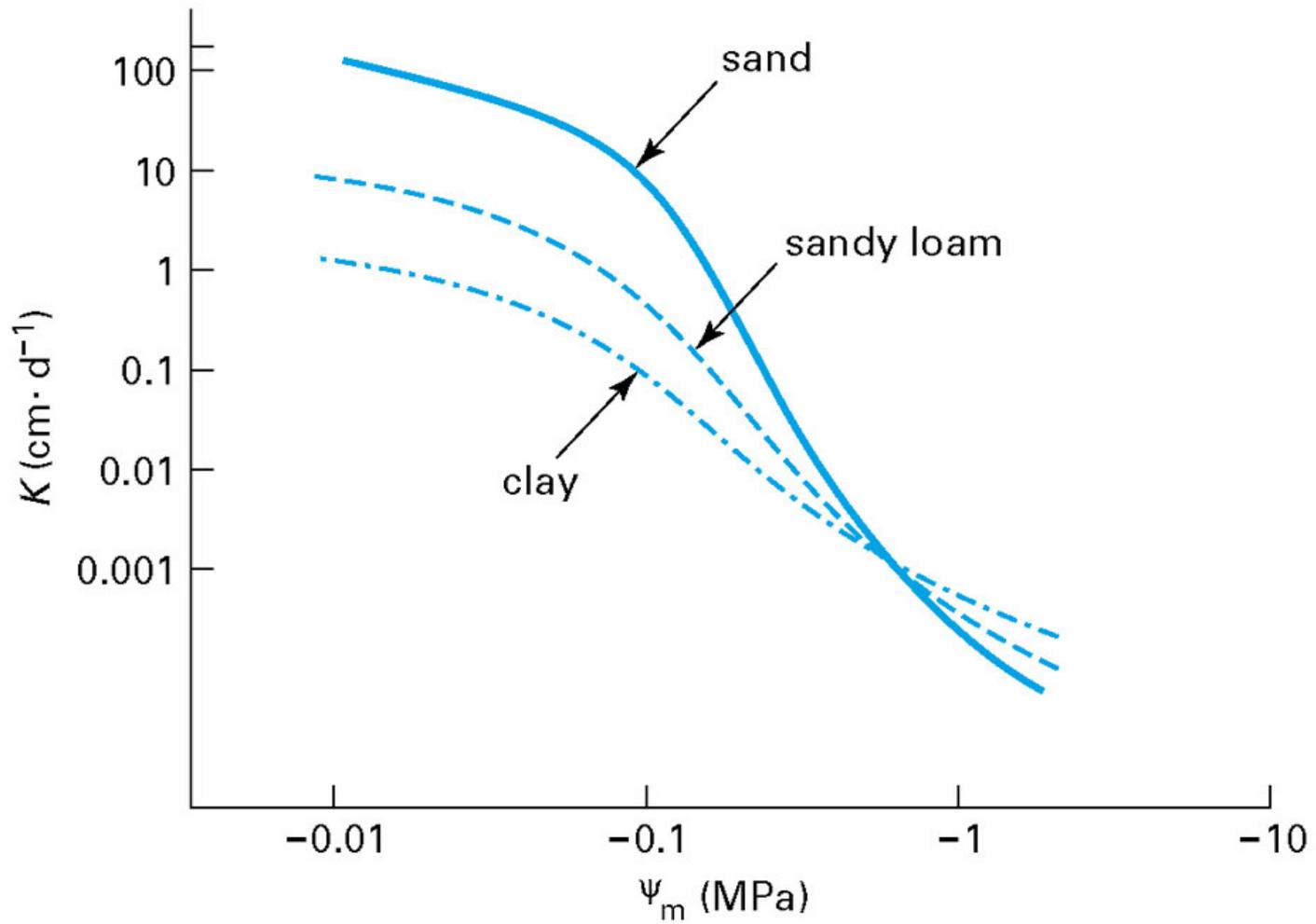
# Henry Darcy experiment:



The flow rate ( $Q$ ) is proportional to the cross sectional area ( $A$ ), pressure difference and inversely proportional to the length ( $L$ ).

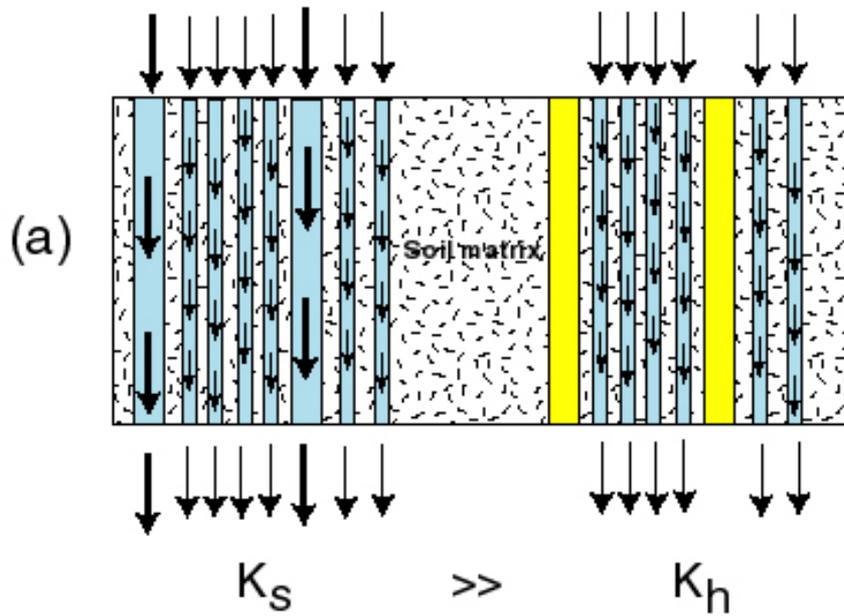


Efecto de la textura y de la menor cantidad de agua en la conductividad hidráulica.



Saturated conditions

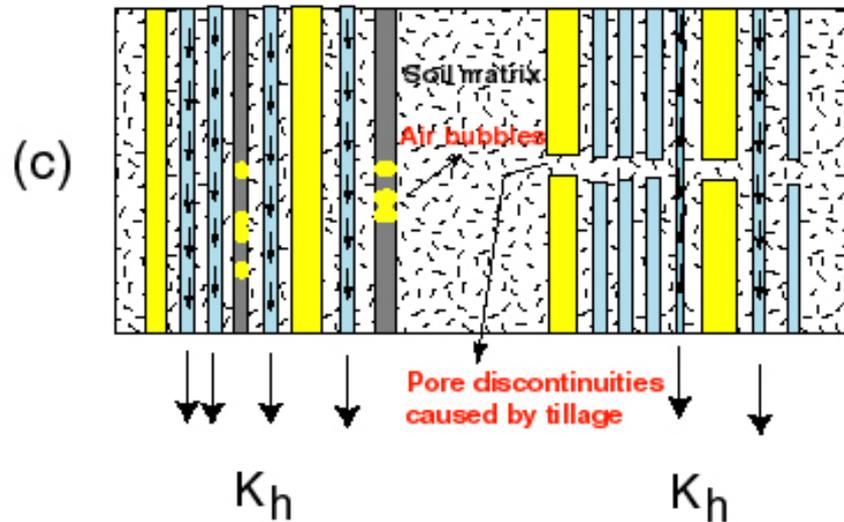
Lower water content



(b)

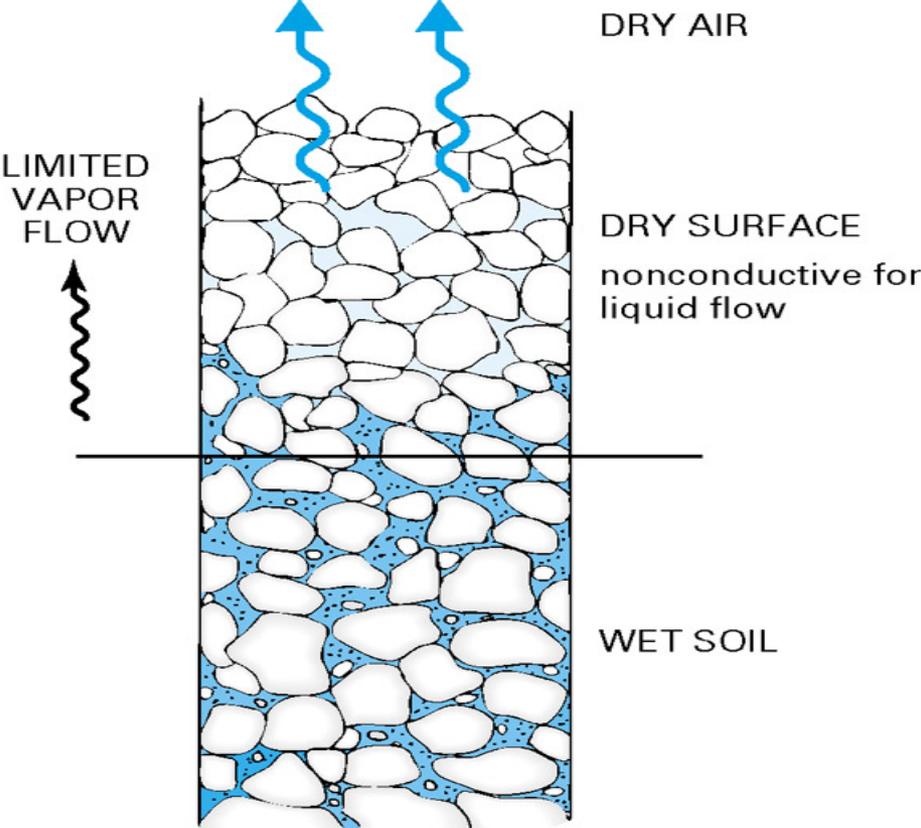
A capacidad de campo  $K$  es 1000 veces menor que  $K_s$ .

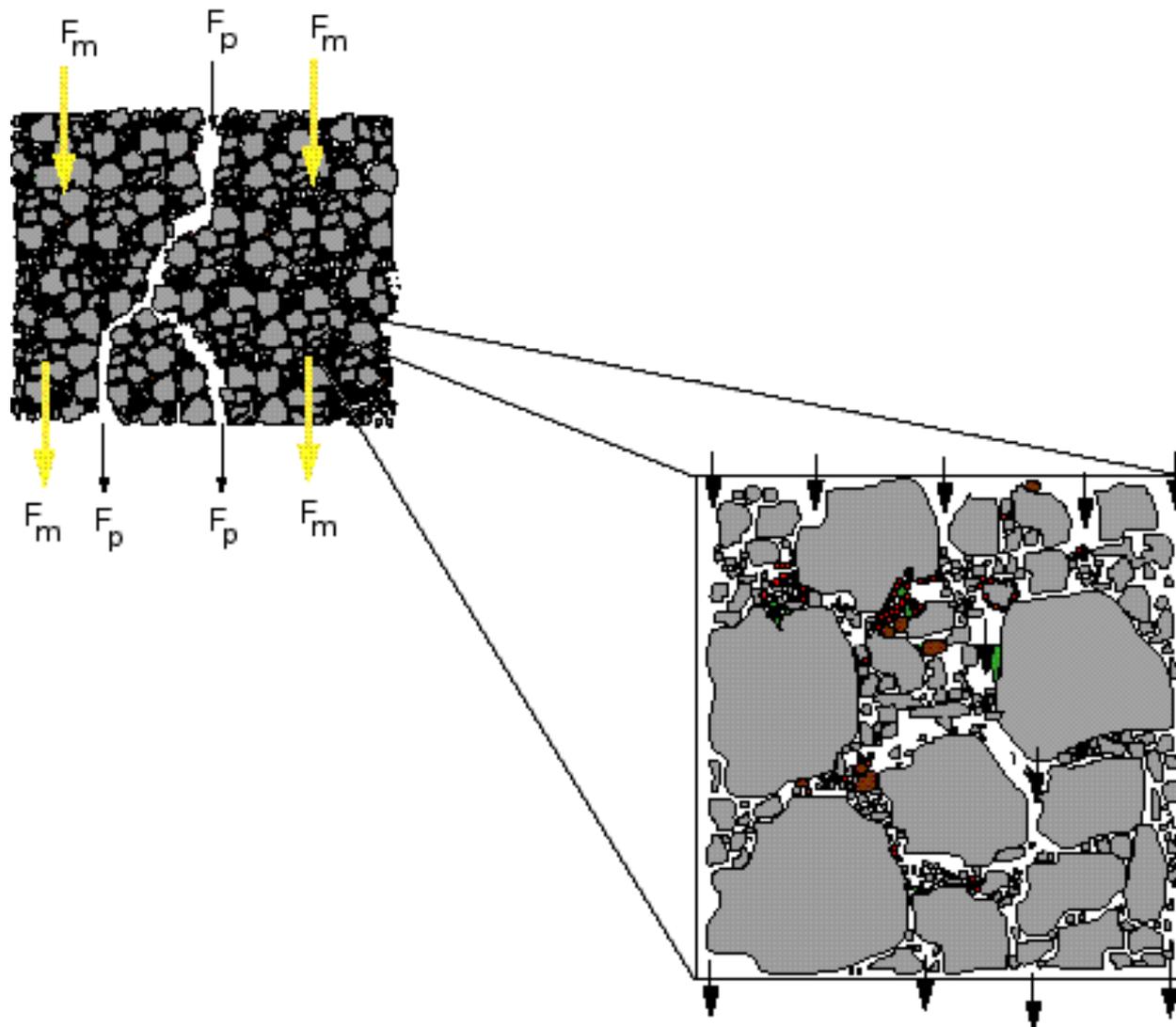
A PMP (3/4 del espacio poroso ha drenado)  $K$  es 1.000.000 de veces menor que  $K_s$



(d)

Una baja conductividad hidráulica en superficie causa una disminución en la evaporación del agua en el suelo.







## Métodos de laboratorio previa obtención de núcleos de suelo no perturbados



Determinación de la conductividad hidráulica con el método de caída de columna de agua



Uso de celdas Tempe



## Discos infiltrómetros





Discos infiltrómetros  
para determinación  
en el campo